

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

07-318327

(43)Date of publication of application : 08.12.1995

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

(21)Application number : 06-110628

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 25.05.1994

(72)Inventor : TANIMIZU KATSUYUKI

ARAKAWA KENICHI

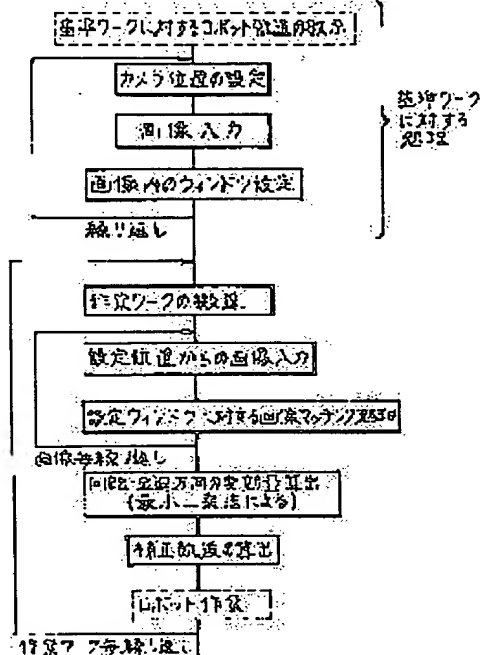
YANAGIHARA YOSHIMASA

(54) THREE-DIMENSIONAL-CONTROL-POSITION CORRECTION METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a three-dimensional-contour-position correction method in which the image of the contour or the like of an object to be corrected is observed directly and in which its position and its attitude can be corrected in six degrees of freedom with high accuracy.

CONSTITUTION: The contour of a criterion object is first observed by a camera in a plurality of set positions, image data is acquired, and on arbitrary number of window regions which contain the image pattern of the contour of the object in the image data is set. The image data in the above set positions is acquired with reference to an object, to be corrected, whose shape is identical to that of the criterion object. Then, the matching processing operation of the window region of the criterion object with the image pattern of the object to be corrected is performed, and a movement amount in the direction of translation or rotation inside a plurality of images is acquired. On the basis of its result, the restraint conditional expression of a position after the movement by the translation and the rotation is obtained. Then, a translation amount and a rotation amount which are unknown are computed by the method of least squares in such a way that a distance between the three-dimensional space position after the movement of the criterion object and a curve or a straight line becomes minimum. A correction is performed on the basis of a computed value.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.11.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3224687

[Date of registration]

24.08.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Best Available Copy

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7 - 3 1 8 3 2 7

(43) 公開日 平成 7 年 (1995) 12 月 8 日

(51) Int. Cl. ^a
G01B 11/24

識別記号 庁内整理番号
K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平 6 - 1 1 0 6 2 8

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 5 月 2 5 日

(71) 出願人 0 0 0 0 4 2 2 6

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目 1 番 6 号

(72) 発明者 谷水 克行

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 荒川 賢一

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 柳原 義正

東京都千代田区内幸町 1 丁目 1 番 6 号 日

本電信電話株式会社内

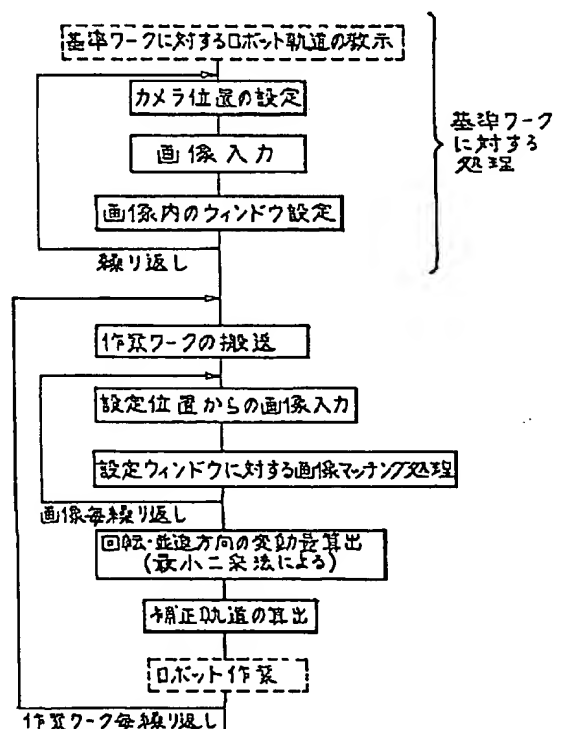
(74) 代理人 弁理士 志賀 富士弥

(54) 【発明の名称】 3 次元輪郭位置補正方法

(57) 【要約】

【目的】 直接、補正対象の輪郭等を画像観測して、その位置や姿勢についての 6 自由度の補正を精度良く行える 3 次元輪郭位置補正方法を提供する。

【構成】 まず、基準の対象の輪郭に対し複数の設定位置でのカメラ観測により画像データを得得し、この画像データ中で対象の輪郭の画像パターンを含むウィンドウ領域を任意個数設定する。次に、基準の対象と同一形状の補正対象に対して、上記設定位置での画像データを得得する。次に、基準の対象のウィンドウ領域と補正対象の画像パターンとのマッチング処理を行ない、複数の画像内での並進または回転方向の移動量を得得する。この結果に基づき、基準の対象の並進および回転による移動後の位置の拘束条件式が得られる。次に、基準の対象の移動後の 3 次元空間位置と上記曲面または直線との距離が、最小になるように未知の並進量および回転量を最小二乗法で算出する。この値に基づいて補正を行う。



2

郭のカメラ観測により画像データを獲得し、

次に、前記基準となる対象について獲得した画像データのウィンドウ領域内の画像パターンと、前記補正対象について獲得した画像データ内の画像パターンとのマッチング処理を行ない、画像内での並進方向あるいは回転方向の移動量を検出する工程を、同一画像内に前記設定されている複数のウィンドウ領域に対して実行するとともに、引き続いて、前記予め設定された他のカメラ観測位置において、該工程を繰り返すことにより、複数画像内の前記複数のウィンドウ領域に対するマッチングの結果としての前記移動量を獲得し、

次に、前記マッチングの結果に基づき、前記基準となる対象上の点を移動した後の位置が3次元空間内で曲面あるいは直線上に存在するという拘束条件式が得られることにより、前記基準となる対象の並進および回転による移動後の3次元空間位置と前記曲面あるいは直線との距離が最小になるよう、3次元空間での前記補正対象の未知の並進量および回転量を最小二乗法により算出し、次に、作業ロボットの軌道を教示する際に設定した複数の教示点に対して、前記算出された並進量および回転量に基づき、3次元座標を補正する処理を施すことにより、前記軌道を補正し、

次に、該補正された軌道に沿ってロボットが所定の作業を行なうことを特徴とする3次元輪郭位置補正方法。

【請求項 3】 対象全体として剛体が成立しない場合に、前記対象を剛体の成立するブロックに分割し、該ブロック毎に対象の位置もしくは姿勢またはその両方を補正する方法を適用することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の 3 次元輪郭位置補正方法。

30 【請求項4】 補正対象の位置もしくは姿勢またはその両方が基準となる対象の位置もしくは姿勢またはその両方から大きくずれている場合に、予めおおよその前記補正対象の位置もしくは姿勢またはその両方を検出し、その検出量によりカメラ観測位置を修正して前記補正対象のカメラ観測を行い、算出された並進量および回転量に前記修正と逆の修正を加えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の3次元輪郭位置補正方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

40 【産業上の利用分野】本発明は、3次元物体の輪郭や、3次元環境内に存在する線状の対象の位置や姿勢を補正する方法に関する。特に、予め定めておいた教示位置からの微小変動が生じる対象の3次元位置や姿勢を補正する方法に関する。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

【従来の技術】従来より、カメラによる画像処理により物体の位置決めを行なう際は、例えば、台上の物体の上方にカメラを設置し、予め基準の物体を正しい位置に設置して画像入力しておき、未知の姿勢の物体に対して同様に画像入力を行ない、画像のマッチングを行なうこと

により、位置の補正を行なう方法がある。

【0003】また、3次元空間内に伸びる線状の対象に対する作業として、例えば従来より、溶接やシール剤塗布作業のロボットによる自動化が行なわれている。通常、ロボット作業は予め教示した経路に沿った動作の繰り返しにより行なわれるが、対象の個体差により、作業すべき経路が教示の経路から微妙にずれるため、作業に先立つ経路補正が望まれている。

【0004】一例の技術として、自動車車体の製造ラインにおける、カメラによる車体の位置決め技術が報告されている。車体の防水、防臭用のシール剤のロボットによる塗布作業の精度向上を目的とするものであるが、このような作業の対象は、車体を構成する各部材の継ぎ目であり、3次元空間内で任意の方向に伸びる線状の対象となっている。ロボットにより作業を行なう場合は、作業に先立って、予め、基準となる車体の対象部位に対して、作業経路をロボットに教示しておき、作業時は、教示通りに動作を繰り返すことにより、対象部位にシール材を塗布する作業を行なう。しかしながら、この場合、各車体の作業部位の3次元位置は、車体製造時の個体差のために、必ずしも基準となる車体の教示部位の位置と一致しておらず、微小量の差位が避けられない。

【0005】従って、個体差による変位を補正するために、従来より、ロボットによる実際の作業に先立ち、カメラ等のセンサーを用いて観測を行ない、観測結果に基づいてロボットの教示軌道を補正した上で、実際の作業を実行している。

【0006】補正方法としては、渡辺、有松：“画像処理装置を利用した3次元位置補正システム”，Robot No. 95, pp. 62-71 (Nov. 1993)，および、國清、相澤、菅野：“車体位置ずれ検知装置付シーリングロボットシステム”，Robot No. 77, pp. 86-95などに示される通り、ラインの周囲にカメラを複数台設置して、ラインを流れてくる車体のキャリア、車体上のゲージホールなどの基準穴や、画像処理に適した特徴部を撮影する。カメラ毎に、基準の車体に対して予め得られたカメラ画像の特徴位置と、作業対象の車体について得られたカメラ画像の特徴位置とのずれ量を検出する。そして、複数のカメラ画像で得られたずれ量と、予めキャリブレーションされたカメラの位置および姿勢データを用いて、3次元的な車体のずれ量が算出される。得られたずれ量に基づき、ロボットの作業軌道を修正した後、塗布作業を行なう。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の位置補正方法では、3次元物体の位置決めの場合、6自由度の内、カメラの光軸に垂直な平面内の並進および回転の3自由度の観測は可能であるが、残りの3自由度については観測不可能であるので、補正処理が行えないという問題がある。

【0008】また、3次元空間の作業ラインの補正の場合、作業対象であるラインの直接観測は行なわず、車体の基準穴など、特徴部をカメラで観測し、算出された特徴部の3次元的なずれ量をもって作業対象のラインの位置ずれ量としている。通常、裁断時の誤差により、作業対象となる車体の合わせ板の端部と、基準穴などの特徴部位との位置関係に関して、基準の車体とのずれが避けられないので、特徴部位の観測に基づく位置補正では、作業の対象である3次元ラインを精度良く補正することができないという問題がある。

【0009】本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであり、その目的は、直接、補正対象の輪郭等を画像観測して、その位置や姿勢についての6自由度の補正を精度良く行うことができる3次元輪郭位置補正方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、請求項1の発明では、3次元空間内での形状が基準と同一の物体または経路などの輪郭を有する対象の位置もしくは姿勢またはその両方を並進量もしくは回転量またはその両方で補正する方法であって、先ず、3次元空間内で対象の輪郭に対して画像計測を行なうためのカメラの観測位置を設定しておき、その観測位置において、基準となる対象の輪郭のカメラ観測により画像データを獲得して画像メモリ等に格納し、該獲得した画像データ中で対象の輪郭の画像パターンを含むウィンドウ領域を任意個数だけ設定する工程を、前記基準となる対象の輪郭に対して複数のカメラ観測位置の設定により、任意の複数回繰り返して実施しておき、次に、前記基準となる対象と同一形状の輪郭を有する補正対象の未知の位置もしくは姿勢またはその両方を検出するために、前記基準となる対象の輪郭に対して予め設定したと同一の複数のカメラ観測位置の各々において、前記補正対象の輪郭のカメラ観測により画像データを獲得し、次に、前記基準となる対象について獲得した画像データのウィンドウ領域内の画像パターンと、前記補正対象について得られた画像データ内の画像パターンとのマッチング処理を行ない、画像内での並進方向あるいは回転方向の移動量を検出する工程を、同一画像内に前記設定されている複数のウィンドウ領域に対して実行するとともに、引き続いて、前記予め設定された他のカメラ観測位置において、該工程を繰り返すことにより、前記複数画像内の複数のウィンドウ領域に対するマッチングの結果としての前記移動量を獲得し、次に、前記マッチングの結果に基づき、前記基準となる対象上の点を移動した後の位置が3次元空間内で曲面あるいは直線上に存在するという拘束条件式が得られることにより、前記基準となる対象の並進および回転による移動の結果、移動後の3次元空間位置と、前記曲面あるいは直線との距離が最小になるよう、3次元空間での前記補正対象の未知の並進量および

回転量を最小二乗法により算出する 3 次元輪郭位置補正方法を手段とする。

【0011】また、請求項 2 の発明では、ロボットが、予め人手により教示しておいた教示軌道の繰り返しにより、3 次元空間内の物体などの輪郭としての経路に沿って動作しながら、所定の作業を行なう際に、輪郭を有する対象の位置もしくは姿勢またはその両方を補正する方法であって、予め、基準となる対象の経路に対して、作業空間内の複数のポイント指定により作業の軌道を教示しておき、続いて、ロボットの先端に搭載したカメラを用いてカメラ観測を行なうにあたり、先ず、基準となる対象の経路としての輪郭に対して、画像計測を行うためのカメラの観測位置を設定しておき、その観測位置において、前記基準となる対象の輪郭のカメラ観測により画像データを得得して画像メモリに格納し、該獲得した画像データ中で対象の輪郭の画像パターンを含むウィンドウ領域を任意個数だけ設定する工程を、前記基準となる対象の輪郭に対して複数の前記カメラ観測位置の設定により、任意の複数回繰り返して実施しておき、次に、前記基準となる対象と同一形状の輪郭を有する補正対象の未知の位置および姿勢を検出するために、前記基準となる対象の輪郭に対して予め設定したのと同じの複数のカメラ位置の各々において、前記補正対象の輪郭のカメラ観測により画像データを得得し、前記基準となる対象について獲得した画像データのウィンドウ領域内の画像パターンと、前記補正対象について獲得した画像データ内の画像パターンとのマッチング処理を行ない、画像内での並進方向あるいは回転方向の移動量を検出する工程を、同一画像内に前記設定されている複数のウィンドウ領域に対して実行するとともに、引き続いて、前記予め設定された他のカメラ観測位置において、該工程を繰り返すことにより、複数画像内の前記複数のウィンドウ領域に対するマッチングの結果としての前記移動量を得得し、次に、前記マッチングの結果に基づき、前記基準となる対象上の点を移動した後の位置が 3 次元空間内で曲面あるいは直線上に存在するという拘束条件式が得られることにより、前記基準となる対象の並進および回転による移動の結果、移動後の 3 次元空間位置と前記曲面あるいは直線との距離が最小になるよう、3 次元空間での補正対象の未知の並進量および回転量を最小二乗法により算出し、次に、作業ロボットの軌道を教示する際に設定した複数の教示点に対して、前記算出された並進量および回転量に基づき、3 次元座標を補正する処理を施すことにより、前記軌道を補正し、次に、該補正された軌道に沿ってロボットが所定の作業を行なう 3 次元輪郭位置補正方法を手段とする。

【0012】また、請求項 3 の発明では、上記の方法において、対象全体として剛体が成立しない場合に、前記対象を剛体の成立するブロックに分割し、該ブロック毎に対象の位置もしくは姿勢またはその両方を補正する方

法を適用する 3 次元輪郭位置補正方法を手段とする。

【0013】さらに、請求項 4 の発明では、上記の方法において、補正対象の位置もしくは姿勢またはその両方が基準となる対象の位置もしくは姿勢またはその両方から大きくずれている場合に、予めおおよその前記補正対象の位置もしくは姿勢またはその両方を検出し、その検出量によりカメラ観測位置を修正して前記補正対象のカメラ観測を行い、算出された並進量および回転量に前記修正と逆の修正を加える 3 次元輪郭位置補正方法を手段とする。

【0014】

【作用】本発明の 3 次元空間輪郭位置補正方法では、先ず、カメラの観測位置を設定しておき、その観測位置において、3 次元空間内で基準となる対象の輪郭のカメラ観測により画像計測を行って画像データを得得し、得られた画像データ中で対象の輪郭の画像パターンを含むウィンドウ領域を任意個数だけ設定する工程を、基準となる対象の輪郭に対して複数のカメラ観測位置の設定により、任意の複数回繰り返して実施しておく。

【0015】次に、基準となる対象と同一形状の輪郭を有する補正対象について、未知の位置や姿勢を検出するために、基準となる対象の輪郭に対して予め設定したのと同じのカメラ観測位置において、補正対象の輪郭のカメラ観測により画像データを得得する。そして、基準となる対象の設定時に得られた画像のウィンドウ領域内の画像パターンと、補正対象について得られた画像データ内の画像パターンとのマッチング処理を行ない、画像内での並進方向あるいは回転方向の移動量を検出する。この一連の工程を、同一画像内に設定されている複数のウィンドウ領域に対して実行し、さらに、引き続いて、予め設定された他のカメラ観測位置においても、同様の工程を繰り返すことにより、複数画像内の複数のウィンドウ領域に対するマッチングの結果としての移動量を得得する。

【0016】以上の通り行なったマッチングの結果に基づき、基準となる対象上の点の移動後の位置が 3 次元空間内で、曲面あるいは直線上に存在するという拘束条件式が得られることになる。従って、基準となる対象の並進および回転による移動の結果、移動後の 3 次元空間位置と、上記曲面あるいは直線との距離が最小になるように、未知の並進量および回転量を最小二乗法により算出することにより、3 次元空間内で、形状が基準となる同一の物体や経路など、輪郭を有する対象の位置および姿勢を補正することができる。

【0017】さらに、ロボットが、予め人手により教示しておいた教示軌道の繰り返しにより、3 次元空間内の物体などの輪郭としての経路に沿って動作しながら、所定の作業を行なうにあたり、作業対象の経路が基準の経路と微妙にずれている場合の経路の補正方法では、まず従来通り、予め、基準となる対象の経路に対して、作業

10

20

30

40

50

空間内の複数のポイント指定により作業の軌道が教示される。続いて、ロボットの先端に搭載したカメラにより、上述と同様に、基準の対象である経路に対して、画像の観測、マッチングのためのウィンドウ領域の設定などを行なう。作業対象の経路についても、同様に、カメラにより画像計測を行ない、各々のウィンドウ領域についてマッチング処理を行ない、複数のマッチング結果から得られる3次元空間内の平面、直線などの拘束条件式を用いて、最小二乗法により、経路全体としての並進、回転の変動量を算出する。

【0018】そして、作業ロボットの軌道教示の際に設定した複数の教示点に対して、算出された変動量に基づき、3次元座標を補正する処理を施すことにより補正された軌道に沿ってロボットが所定の作業を行なう。この結果、微妙な経路の変動を補正した上で作業を行なうことができるので、ロボット作業の精度が向上する。

【0019】

【実施例】以下、図面により、本発明の一実施例としての3次元輪郭位置補正方法について詳しく説明する。

【0020】図1(a)に示すように、3次元空間内に線状の対象(ライン)L1がある。ラインL1は基準ワークB上に存在する作業ラインである。ラインL1に沿ってロボットRが作業を行なうため、予め、ロボットRの軌道は、ティーチングペンダントなどを用いた3次元空間内の複数のポイントの教示により、設定されている。さて、このライン状の対象をロボットRの先端に搭載したカメラCにより撮影し、画像データとする。3次元空間の座標系の原点をOとする。例えば、3次元空間内の観測位置Qにおいて、予め設定した姿勢でカメラ撮影することにより、図1(b)に示すような画像101が得られる。画像101内にはラインLの一部S1が撮影されている。続いて、画像101内のラインS1の一部を含むようにウィンドウW1を設定する。ウィンドウW1の中心点をP1とする。また、後述する画像マッチングのサーチ範囲M1を設定する。サーチ範囲の広さは任意の設定が可能であり、全画像領域としてもよく、画像の一部領域としてもよい。またサーチ範囲の形状も矩形に限らず任意の設定が可能である。

【0021】図1(b)では、設定するウィンドウの個数は1個としているが、これに限らず、ウィンドウの個数は任意の設定が可能である。

【0022】ロボットを動作させることにより、上記操作を繰り返して、カメラCにより任意の位置および方向から撮影して、得られた各画像データの内部に上記ウィンドウを複数個設定する。

【0023】作業対象のワーク(作業ワーク)上の作業ラインに対して、ロボットが作業を行なう場合は、基準ワークBの作業ライン撮影時と同一の3次元空間内の複数の点において、予め設定した姿勢でカメラ撮影を行ない、得られた各画像内で、予め設定したウィンドウ内の

パターンに対するマッチング処理を行なう。例えば、図1(c)に示すように、作業ワークB2の作業ラインL2に対して基準ワークの作業ライン撮影時と同一の3次元空間内の観測位置Qにおいて、予め設定した同一の姿勢でカメラ撮影を行なう。この結果、例えば、図1

(d)に示すように、作業対象のラインS2を含む画像102が得られる。

【0024】続いて、上記の通り設定したサーチ範囲M1の範囲内で、画像ウィンドウW1内の画像パターンと一致する領域を、画像102内でサーチする。この結果、例えば、最もマッチングする領域として、図1

(d)のW2で示されるウィンドウの領域が得られ、ウィンドウW1からウィンドウW2へ移動量として、並進量 Δx 、 Δy および回転量 θ が算出される。これらの移動量は、上記で設定した複数の画像内の各ウィンドウ領域に対して算出される。

【0025】さて、図1(b)の作業ラインS1上の点P1に着目すると、マッチング処理の結果からは、図1(d)の点P2が対応する点であるといえるが、マッチング対象の画像パターンは線状の対象であり、図1

(b)内のウィンドウW1と図1(d)の画像パターンのマッチング処理を行なっても、図1(d)のラインS2に沿った方向の自由度は残っていることになる。即ち、ウィンドウW2は計算上最もマッチングの度合いが高かったものであるが、照明条件など、画像取り込み時の環境の微妙な変動により、同一対象であっても、例えば、ウィンドウW3のように、異なる位置でマッチングの度合いが最大になることも有り得る。このように線状の対象同士のマッチングでは、線に沿った方向の自由度を残した状態でのマッチングが行なわれる。

【0026】さて、図1(b)の画像内の点P1に対応する3次元空間内の点の座標は、予め、ロボットの教示時に獲得することができる。作業ワークに対して上述の通り獲得した画像とのマッチングの結果、ラインに沿った方向の自由度が残っていることを上記で示したが、カメラの光軸方向の変動も観測できないので、作業ワーク上のラインの奥行き方向にも自由度が残っている。

【0027】画像内で観測される直線(曲線)は、3次元空間内では平面(曲面)に対応する。従って、線状の対象の画像マッチングの結果からは、基準ワークに対する作業ワークの微小変動により、3次元空間内で着目する1点は、空間内の平面(曲面)上の点に移動したことが分かる。即ち、このことから、基準ワークのライン上の点に対して、微小変動として並進および回転が施された点は、3次元空間内の平面(曲面)内に存在するという拘束条件が得られる。これを式で表現することとする。

【0028】画像内の線分は両端の2点によって示される。画像内の2点によって決定される3次元空間内の平面の式は、次の通り求められる。図2の通り、世界座標

系の原点をO、カメラの基準点をT（位置ベクトル t ）、未知の対象物1および2の位置を各々 P_1 （位置ベクトル p_1 ）、 P_2 （位置ベクトル p_2 ）、対象物1および2に対応する画像内の点を $U_1 = (u_1, v_1)$ および $U_2 = (u_2, v_2)$ とする。また、カメラの方向を単位ベクトル i, j, k で表わし、画像の U, V 軸は各

$$s_1 u_1 = i(p_1 - t) \quad (1a)$$

$$s_1 v_1 = j(p_1 - t) \quad (1b)$$

$$s_1 = k(p_1 - t) \quad (1c)$$

$$s_2 u_2 = i(p_2 - t) \quad (2a)$$

$$s_2 v_2 = j(p_2 - t) \quad (2b)$$

$$s_2 = k(p_2 - t) \quad (2c)$$

【0030】対象物の点 P_1 および P_2 とカメラの基準点Tの3点を通る平面の式は、媒介変数 $(\lambda, \lambda', \mu, \mu')$ 表示により次式で得られる。即ち、

$$\begin{aligned} x &= t + \lambda'(p_1 - t) + \mu'(p_2 - t) \\ &= t + \lambda((u_1 k - i) \times (v_1 k - j)) + \mu((u_2 k - i) \times (v_2 k - j)) \end{aligned} \quad (3)$$

【0032】このように、画像内の線分に対応する3次元空間内の平面の式が算出される。

【0033】なお、撮影時のカメラの位置および姿勢を示すパラメータは、ロボットの姿勢と、ロボットとカメラ取り付け位置との関係、および、カメラキャリブレーションによるカメラパラメータにより、予め決定されている。

【0034】さて、カメラで観測する基準ワーク上の点を、図1(a)の作業ラインL1上の屈曲点Kとした場合、例えば、図3(a)に示すような画像が得られ、屈曲点Kに対応する画像内の点P3を含むように、マッチングのためのウィンドウW4が設定される。作業ワークに対して、上述の通り、カメラ観測を行ない、画像のマッチングを行なった結果、例えば、図3(b)に示すように、対応する領域としてウィンドウW5の領域が得られる。この場合、基準ワークの画像内の点P3に対応す

$$x = t + \lambda p$$

【0038】の式で示される。ここで、方向ベクトル p は、

$$p = (u k - i) \times (v k - j)$$

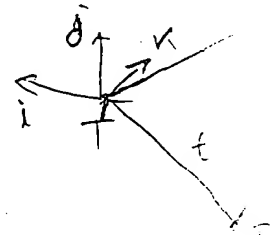
【0040】で得られる。

【0041】このように、画像内の点に対応する3次元空間内の直線の式が算出される。

々、ベクトル i, j に平行であるものとする。未知パラメータ s_1 および s_2 を用いて、画像内の点 U_1, U_2 とカメラの基準点Tと対象物1, 2の点 P_1, P_2 の関係を表すと、以下になる。

【0029】

【数1】



【0031】

【数2】

る点は、ウィンドウW5内の点P4となる。3次元空間内でのカメラの光軸方向の変位は観測できないので、基準ワーク上の着目点Kは、作業ワーク上では、画像面への投影点が点P4となる3次元空間内の直線上の任意の点に対応することになる。

【0035】即ち、このことから、基準ワークの屈曲部などの特徴点に対して、微小変動として、並進および回転が施された点は、3次元空間内の直線内に存在するという拘束条件が得られる。これを式で表現することとする。

【0036】まず、画像内の1点により決定される直線を算出する。3次元空間内の点P（位置ベクトル p ）、観測画像内の点 $U = (u, v)$ などを上記と同様に設定する。直線を r とすると、媒介変数 λ を用いて、

【0037】

【数3】

$$r = t + \lambda p \quad (4)$$

【0039】

【数4】

(5)

【0042】さて、次に、画像マッチングによって得られる拘束条件式を用いた、3次元対象の位置補正方法を示す。

【0043】まず、観測される作業ラインが線状のものである場合、画像内のウィンドウ設定により、上述の通り、線分のパターンについてマッチング処理を行なう。マッチングの結果、検出されるのは線分の並進、回転などの変位量である。基準ワーク上で表示した3次元空間の点は、画像面への投影がマッチングされた線分となる3次元平面上に存在することになる。このことから、上述した通り、一つの局所領域のマッチングにより、一つ

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_{x\alpha} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_{y\phi} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_{z\theta} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(6)

(7)

(8)

(9)

【0046】と示される。

【0047】対象ワークの未知の位置および姿勢は、基準ワークの位置および姿勢からのx, y, z各軸の回転の後、並進移動によって得られたものとしたとき、変換

$$R = TR_{z\theta}R_{y\phi}R_{x\alpha}$$

$$= \begin{pmatrix} C_\theta C_\phi & C_\theta S_\phi S_\alpha - S_\theta C_\alpha & C_\theta S_\phi C_\alpha + S_\theta S_\alpha & \Delta x \\ S_\theta C_\phi & S_\theta S_\phi S_\alpha + C_\theta C_\alpha & S_\theta S_\phi C_\alpha - C_\theta S_\alpha & \Delta y \\ -S_\phi & C_\phi S_\alpha & C_\phi C_\alpha & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(10)

(11)

【0049】但し、記述を簡単化するため、cosをCで示し、sinをSで示している。例えば、 $C_\theta = \cos \theta$ 、 $S_\alpha = \sin \phi$ などである。

【0050】ここで回転量を微小として、 $\alpha \approx 0$ 、 $\phi \approx$

の拘束条件式が得られる。

【0044】x軸回りの回転を α 、y軸回りの回転を ϕ 、z軸回りの回転を θ とし、並進移動量を Δx 、 Δy 、 Δz とする。並進およびx, y, z軸回りの回転の変換を示す4次の斉時行列を、T, R, . . . , R, . . . , R, . . . とする。例えば、

【0045】

【数5】

行列Rは次の通り得られる。

【0048】

【数6】

0, $\theta \approx 0$ とすると、

【0051】

【数7】

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \phi\alpha - \theta & \phi + \theta\alpha & \Delta x \\ \theta & \theta\phi\alpha + 1 & \theta\phi - \alpha & \Delta y \\ -\phi & \alpha & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

【0052】さらに、2次以上の微小項を0として、
【0053】

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -\theta & \phi & \Delta x \\ \theta & 1 & -\alpha & \Delta y \\ -\phi & \alpha & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

【0054】教示の際に、マッチングに使用するラインの両端の点を指定する。これは、ウィンドウによって切断されるラインの両端としてもよく、また、ウィンドウ内に存在するラインの一部として線分の両端を指定するようにしてもよい。さて、局所領域における画像のウィンドウマッチングにより、作業対象のライン上の対応する2点が得られる。

【0055】さて、1番目教示点を P_i 、また、対応する作業ラインの点を Q_i とし、各々の3次元座標を (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) 、 (x_{qi}, y_{qi}, z_{qi}) とする。

【0056】ここで、

【0057】

【数9】

$x_{pi} = (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}, 1)^T$ 、 $x_{qi} = (x_{qi}, y_{qi}, z_{qi}, 1)^T$ とすると、

$$x_{qi} = R x_{pi} \quad (14)$$

【0058】である。

【0059】マッチングの結果、(3)式に従って、線分に対応する平面が得られるが、この平面の係数ベクトルを、

ルを、

【0060】

【数10】

$a_i = (A_i, B_i, C_i, D_i)$ 、(但し、 $A_i^2 + B_i^2 + C_i^2 = 1$)、 $x = (x, y, z, 1)^T$

【0061】とする。

【0063】

【0062】画像のマッチングの結果得られる拘束平面の式は次式の通りである。

【数11】

$$a_i x = 0$$

(15)

【0064】観測される点 Q_i はこの拘束平面上にあるので、 x_{qi} は(15)式を満たす。そこで、評価関数 F を、

【0065】

【数12】

$$F = \sum_i (a_i x)^2 \quad (16)$$

【0066】のように平面からの距離の二乗和の累積としたときに、 F を最小とする微小移動量 α 、 ϕ 、 θ 、 Δx 、 Δy 、 Δz を求めればよい。このため、(16)式を各変数について偏微分したものを0として得られる連立方程式を解く。

【0067】さて、画像のマッチングを屈曲点のような

$$\delta^2 = |x_q - t|^2 - \frac{(x_q - t, p)^2}{|p|^2} \quad (17)$$

特徴点に対して行なった場合、教示点の移動後の位置は、上述の通り、直線上に拘束される。

【0068】上述の直線 γ と3次元空間内の点 Q との距離を δ とすると、

【0069】

【数13】

【0070】で得られる。この場合、(17)式による直線からの距離の二乗和を、評価関数 F に盛り込むこと

で適用可能である。線分のマッチングの場合と同様に、(16)式を各変数について偏微分したものを0として

得られる連立方程式を解くことによって、各変数を算出する。

【0071】このように、教示点が微小量移動した点の存在する範囲が、平面あるいは直線上に限定されることから、複数の教示点に対する拘束条件式から、最小二乗法により、作業対象の微小変位の変動量を算出することができる。

【0072】なお、変動量の算出のためには、独立な、必要最小限以上の個数の画像マッチング結果が得られている必要がある。

【0073】算出された6自由度の各ずれ量（移動量）を用いて、ロボットの軌道教示時に指定した各教示点の位置の補正量を求め、これらにより教示軌道を修正する。ロボットは修正された軌道に従って動作し、規定の作業を行なう。

【0074】微小変位の変動量を算出する際は、変動の範囲が予めある範囲内に限定されているので、明らかに解としてふさわしくないものを除外して算出すればよい。なお、予め変位の傾向が明らかであり、6自由度全ての移動量を算出する必要のない場合は、変数を削減して算出すればよい。

【0075】また、上記では、微小量の変動を扱うために、回転の変動がほぼゼロに等しいものとして話を進めたが、これに限るものではなく、計算が煩雑となるが、そのまま \cos 、 \sin などの項を用いて、算出するようにしても差し支えない。

【0076】なお、画像マッチングの際には、対象のパターンに応じて、マッチング処理時間を短縮するために、回転成分を除外して、 x 、 y の並進方向の成分のみを検出するようにしてもよい。

【0077】また、図1(b)および図1(d)で示したように、対象が線状の場合、ラインに沿った方向では任意の位置でマッチングが行なわれることが有り得る。この場合は、基準画像におけるウィンドウ設定時に、ラインに沿った方向については、マッチングのサーチ範囲を限定するようにしてもよい。例えば、対象に生じ得る微小変動量の最大値を上限としてもよい。なお、極端には、ラインに垂直方向のみにマッチングのサーチを行なうようにしてもよい。

【0078】図4に、本発明による位置補正方法および作業の手順を示す。

【0079】先ず、基準ワークの作業ラインに対して、ティーチングペンダントなどを用いて、ロボットの軌道を教示する。通常、軌道に沿った3次元空間内の複数の点として教示される。この結果、基準ワークの作業ラインに対しては、精度良く、ロボットが経路をたどることができるようになる。

【0080】ロボットアームの先端には、予めキャリブレーションの施されたカメラが搭載されている。ロボット軌道の教示に続いて、ロボットを作動させ、カメラ観

測を行なうための位置を設定する。その位置において、基準ワーク上の作業ラインをカメラにより観測し、画像データを獲得し、画像メモリに格納する（画像入力）。そして、画像内に画像マッチングのためのウィンドウ領域（およびサーチ範囲など）を設定する。一つの画像内で任意個数のウィンドウ領域が設定される。引き続き、ロボットの動作によりカメラ観測位置を設定し、上記と同様に、画像の獲得、ウィンドウの設定の処理を繰り返す。

10 【0081】以上の処理は、作業に先立ち1回だけ、基準ワークに対して行なわれる。但し、信頼性向上などの目的により、上記作業を複数回実施することによって、最適な設定が行なえるようにしても差し支えない。

【0082】次に、作業ワークを搬送し、それに対してロボット作業を行なう。作業に先立ち、上記の通り設定した位置にロボットを動作させ、その位置においてカメラ撮影し、画像データを獲得する（画像入力）。基準設定時に得られた画像の設定ウィンドウ領域のパターンと、作業ワークに対して得られた画像データ内のパターンとのマッチング処理を行なう。マッチングの結果、画像上での対応位置が算出される。同一画像内に複数のウィンドウが設定されている場合は、全てのウィンドウ領域について、マッチング処理が行なわれる。引き続き、次の設定位置にロボットを移動させ、上記と同様の画像の獲得、設定ウィンドウに対するマッチング処理を繰り返す。

【0083】以上の通り、複数の画像内に設定された複数のウィンドウ領域について得られたマッチング結果を用いて、前述したように回転、並進方向の変動量を最小二乗法により算出する。得られた変動量は、基準ワーク全体を剛体として得られた、並進および回転の変動量であるので、作業を行うロボットの軌道を補正する場合は、軌道教示の際に設定した複数の教示点に対して、変動量に基づき、3次元座標を補正する。この際に、ロボットの動特性を考慮した上で、教示点の補正処理が行なうようにしてもよい。

【0084】上述の通り、ロボットの補正軌道が得られた後、作業ラインに対してロボットによる作業が実施される。

40 【0085】各作業ワークの作業ラインに対して、上記の処理が繰り返し行なわれる。

【0086】上述の本発明の実施例の説明では、ロボットの作業を前提として話を進めてきたが、本発明はこれに限らず、単に、3次元空間内の対象物の位置および姿勢の変動量を検出するために本手法を用いることも可能である。

【0087】以下、本発明の他の実施例としての3次元輪郭位置補正方法について説明する。例えば、図5

(a)に示すような3次元物体20を対象とするものとする。物体20と同一形状の物体がコンベアV上を流れ

ており、物体の位置は、指定の位置からずれが生じ得るものとする。物体に対して、後の工程で、例えば、ロボットによる把持や、部品組み付けなどの作業がなされるものとし、位置および姿勢を検出した上で、作業を行なうことが要求される。

【0088】まず、基準の物体20を基準の位置に固定し、矢印D1～D5で示す複数の方向から、カメラにより観測する。各方向から得られた画像データ内にマッチングのためのウィンドウ領域を設定する。

【0089】次に、位置、姿勢が未知の対象物体がコンベアVを流れて来た場合に、上記と同一の複数の方向からカメラによる観測を行なう。そして、上記設定したウィンドウ領域に対して画像マッチング処理を行ない、画像内の変動量を得る。続いて、全てのウィンドウについて得られた画像中の変動量を用いて、物体として3次元的位置および姿勢の変動量が算出され、物体の正しい位置および姿勢が得られる。

【0090】この例では平面内の回転および並進のみの変動となっているが、これに限らず、例えば、作業台平面の凹凸に微妙な変動があるために、3次元空間内で任意の6自由度の変動が生じていても、補正が可能である。

【0091】なお、観測するカメラはロボットに搭載するのに限らず、任意の治具により固定するようにしてもよい。

【0092】上述の通り、本発明による位置補正は、補正対象のうち、剛体の成立する部分で、有効に作動する。線状の対象が長いために、剛体が成立しない場合は、対象全体を剛体の成立するブロックに分割し、各ブロック毎に位置補正処理を施すようにすればよい。例えば、図6に示すように、対象のラインが長い場合は、ねじれなどにより、基準ワークのラインと作業ワークのラインとは必ずしも一致しない場合がある。この場合は、例えば図6に示すように、全作業ラインを3つのブロック11、12、13に分割し、各ブロックについて、上述の位置補正処理を行なうようにしてもよい。この例では、ブロック11は e_1 から e_2 および e_2 の途中までのライン、ブロック12は e_2 から e_3 を越え e_3 の途中までのライン、ブロック13は e_3 の後から e_4 までのラインとなっている。

【0093】また、物体の全体の形状は基準と作業対象とで異なっても、局所的には基準と形状が一致する部分があれば、その局所部位について、本手法を適用することにより、局所部の位置補正を行なうことができる。

【0094】対象の位置および姿勢が、基準となる対象の位置および姿勢から大きくずれている場合には、予めラフに位置姿勢を検出した上で、本発明の手法により位置姿勢を補正するようにしてもよい。例えば、図5

(a)に示すような物体が、図5(b)に示すように、同一の安定姿勢において大きく回転している場合、指定

の位置からカメラ観測する作業に先立ち、例えば、上方からカメラ観測を行ない、平面内の回転量をラフを検出しておき、予め指定したカメラの観測方向D1からD5に対して、得られた回転量分の回転を施した後、所定の画像獲得、画像マッチングなどの処理を行なうようにすればよい。

【0095】

【発明の効果】以上、詳述した通り、請求項1に代表される本発明の3次元輪郭位置補正方法によれば、補正対象を直接カメラ観測し、基準の対象の画像内のウィンドウ領域に対するマッチング処理により得られる、3次元空間内の点の変動後の位置が平面上あるいは直線上に拘束されるという関係式を複数個用いて、最小二乗法を適用することにより、3次元空間内の線状の対象物あるいは輪郭の位置や姿勢を算出する、という極めて簡素な構成により、3次元の補正対象の輪郭の基準の位置や姿勢からのずれを、6自由度の変動量として算出して、その位置や姿勢を正確に補正することができる。

【0096】また、請求項2の発明によれば、特に、ロボット作業を行なう経路の個体差により生じる教示ラインからのずれを、直接、作業ラインをカメラ観測することによって獲得することができ、作業に先立ち、ロボットの軌道を正確に補正することができる。

【0097】また、請求項3の発明によれば、特に、剛体の成立する局所的な部位に分割してカメラ観測を行うようにしたので、全体が長かったりするような対象でも、局所部のみの、あるいは剛体の成立する部位毎に輪郭位置の補正を行なうことができる。

【0098】さらに、請求項4の発明によれば、特に、補正対象の位置や姿勢を検出して、予めラフにカメラ観測位置を修正した上で、輪郭位置の補正処理を行うようにしたので、補正対象の位置や姿勢が基準よりも大きくずれている場合でも、輪郭位置の補正を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)、(b)、(c)、(d)は本発明の一実施例における基準ワークと作業ワークに対するカメラ撮影法および画像のマッチング法に関する説明図

【図2】上記実施例における3次元座標系におけるカメラ位置、撮影対象位置、画像内座標との対応に関する説明図

【図3】(a)、(b)は上記実施例における屈曲点のカメラ観測により得られる画像データとウィンドウ領域のマッチング処理を示す図

【図4】本発明による位置補正方法を用いてロボット作業を行なう場合の手順を示す図

【図5】(a)、(b)は3次元物体の位置および姿勢検出のために本発明の輪郭位置補正方法を適用する場合の説明図

【図6】長い作業ラインに本発明の輪郭位置補正方法を

適用する場合のブロック単位の分割を示す図

【符号の説明】

R…ロボット

C…カメラ

L 1, L 2, S 1, S 2…作業ライン

B…基準ワーク

B 2…作業ワーク

1 0 1, 1 0 2…画像データ

W 1, W 2, W 3, W 4, W 5…ウィンドウ

M 1…サーチ範囲

Q…カメラの観測位置

P 1, P 2…3次元空間内の点

U 1, U 2…画像内の点

O…世界座標系原点

T…カメラの基準点

K…屈曲点

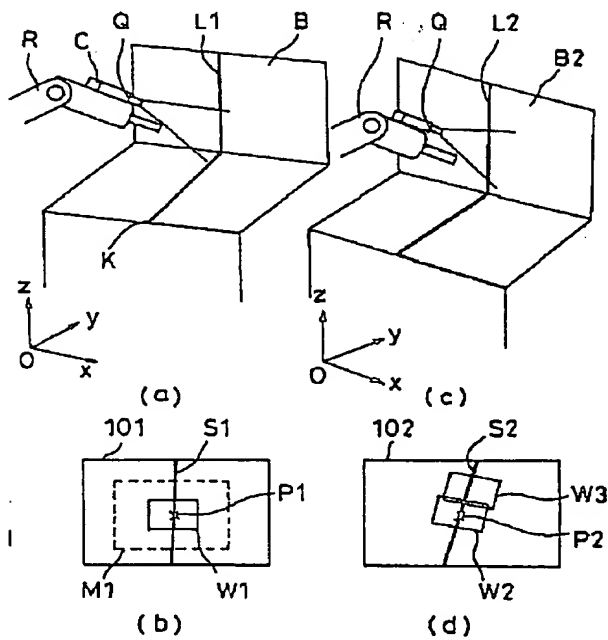
D 1～D 5…カメラ観測方向

1 1, 1 2, 1 3…ブロック

e₁～e₉…ライン上の点

10 V…コンベア

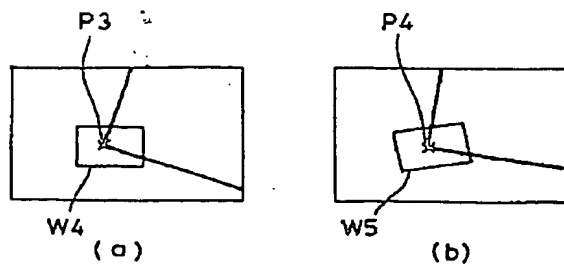
【図 1】



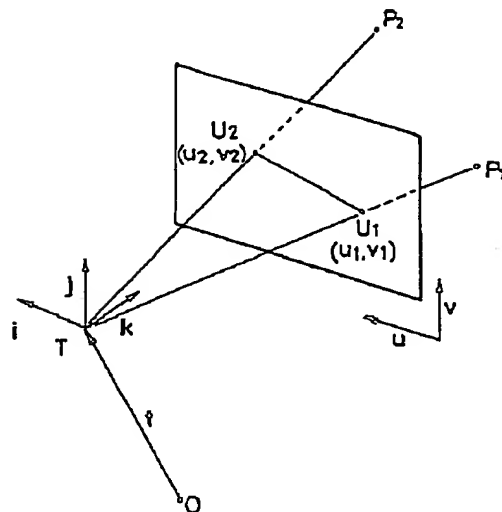
R…ロボット
C…カメラ
L 1, L 2, S 1, S 2
…作業ライン
B…基準ワーク

B 2…作業ワーク
1 0 1, 1 0 2…画像データ
W 1, W 2, W 3…ウィンドウ
M 1…サーチ範囲
Q…カメラの観測位置

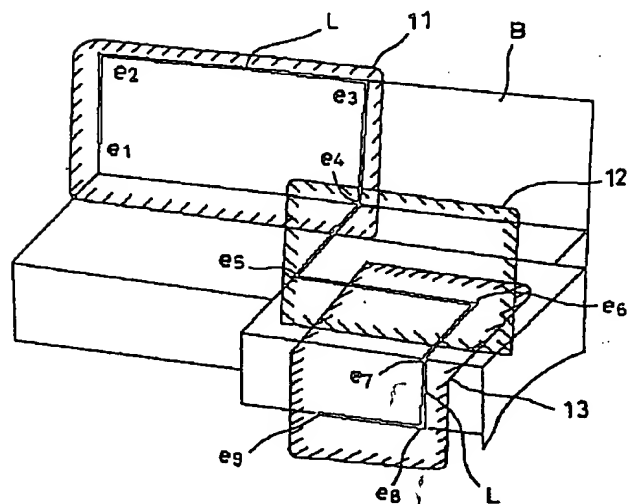
【図 3】



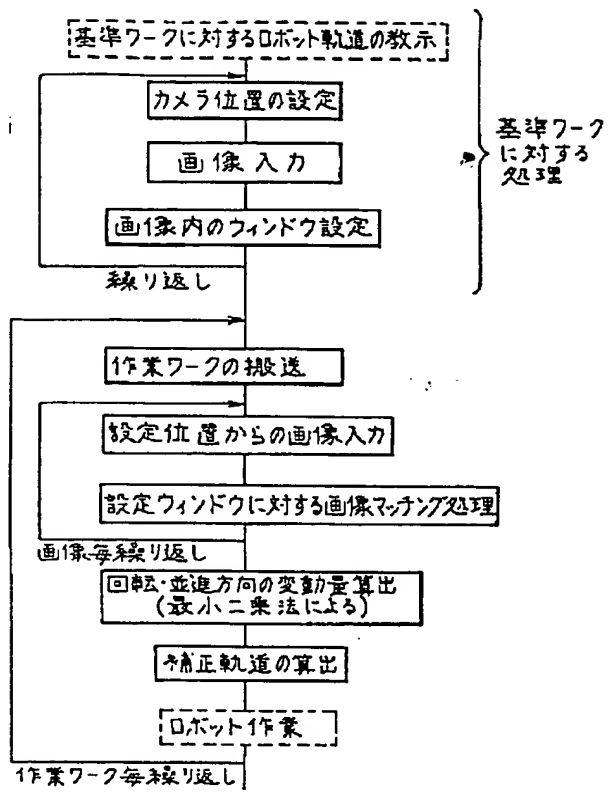
【図 2】



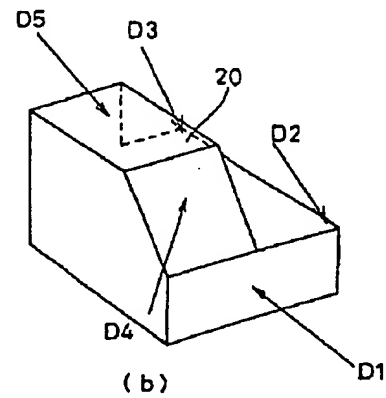
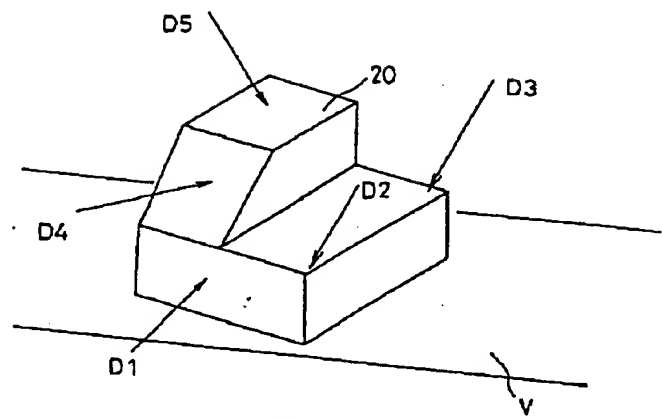
【図 6】



【図 4】



【図 5】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.